

УДК 550.34

О ПРОГНОЗИРОВАНИИ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В РАЙОНЕ ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА

© 2016 П.П. Фирстов¹, Г.Н. Копылова¹, А.В. Соломатин², Ю.К. Серафимова¹

¹Камчатский филиал Федерального исследовательского центра
«Единая геофизическая служба РАН», 683006, Петропавловск-Камчатский

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 683006,
Петропавловск-Камчатский; e-mail: firstov@emsd.ru

В работе приводится описание комплекса сейсмопрогностических данных, указывающих на повышенную вероятность возникновения сильного землетрясения в районе полуострова Камчатка. В соответствии с долгосрочными сейсмическими прогнозами, основанными на статистическом анализе развития сейсмичности в очагах сильнейших землетрясений северо-западной части Тихого океана, их миграции и связи с космическими природными циклами, в ближайшие годы высока вероятность сильного сейсмического события, которое может вызвать сотрясения до 7–9 баллов в городах Петропавловск-Камчатский, Елизово и Вилучинск. По данным многолетних наблюдений на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне за объемной активностью подпочвенного радона и вариациями уровня воды в глубокой скважине выявлены среднесрочные признаки подготовки сильного землетрясения в Камчатской сейсмогенной зоне, включающей акватории Кроноцкого, Авачинского заливов и Южной Камчатки. Подчеркивается необходимость активизации работы по сейсмопрогностической тематике на Камчатке и осуществления здесь комплекса превентивных мероприятий административными органами и научными организациями.

Ключевые слова: Камчатка, сейсмический цикл, долгосрочный прогноз, радон, уровень воды.

ВВЕДЕНИЕ

Камчатский край является одним из наиболее сейсмоопасных регионов России. Вблизи восточного побережья Камчатки возможны сильнейшие землетрясения с величинами магнитуд до 8–9, которые могут сопровождаться цунами и сотрясениями на побережье до 9–10 баллов по шкале MSK-64 (Медведев и др., 1965), что может привести к катастрофическим последствиям для населения и инфраструктуры урбанизированных территорий. Наиболее уязвимым, с точки зрения воздействия сильного землетрясения, является район Петропавловско-Елизовской агломерации, с населением около 250 тыс. человек. Города Петропавловск-Камчатский, Елизово и Вилучинск расположенные вблизи побережья Авачинского залива, находятся в зоне 9-балльных сотрясений согласно современной карте Общего сейсмического районирования РФ (Комплект ..., 1999). При возникновении 9-балльного землетрясения возможны безвозвратные

потери среди населения и разрушение зданий и сооружений. Поэтому прогнозирование в этом районе землетрясений с величинами магнитуд порядка 7 и более, которые могут сопровождаться сотрясениями до 7–9 баллов, жизненно необходимо для организации превентивных мероприятий — сейсмоукрепления домов и сооружений и реализации комплекса мер по предотвращению и ликвидации последствий землетрясения.

Одним из приоритетных направлений деятельности Камчатского филиала Федерального исследовательского центра «Единая Геофизическая служба РАН» (КФ ФИЦ ЕГС РАН), Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (ИВиС ДВО РАН), Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН является развитие сетей мониторинга за параметрами геофизических и геохимических полей с целью поиска предвестников и разработки методов прогноза сильных землетрясений. Описание современного состояния сетей наблюдений за предвестниками землетрясений

на территории Камчатки, а также отдельных методик оценки сейсмической опасности приводятся в книге (Чебров и др., 2011), а также других публикациях (Копылова, Серафимова, 2009; Серафимова, Копылова, 2010).

Заключения о сейсмической опасности подаются в два специализированных экспертных совета по прогнозу землетрясений. Это Камчатский филиал Российского экспертного Совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска (КФ РЭС), созданный при КФ ФИЦ ЕГС РАН, и Общий совет ИВиС ДВО РАН и КФ ФИЦ ЕГС РАН по прогнозу землетрясений и извержений вулканов (ОСП). Работа КФ РЭС в 1998–2008 гг. детально освещена в книге (Чебров и др., 2011).

ОСП был создан в ИВиС ДВО РАН в 1978 гг. и до настоящего времени работает под руководством академика РАН С.А. Федотова. С 1994 г. (Федотов, 2008) в его состав были включены эксперты из Камчатской опытно-методической сейсмологической партии ГС РАН (в настоящее время КФ ФИЦ ЕГС РАН), и с этого времени совет стал именоваться Общим советом ИВиС ДВО РАН и КФ ФИЦ ЕГС РАН. В середине 1990-х гг. экспертные советы по прогнозу землетрясений также стали создаваться в рамках Геофизической службы РАН, МЧС РФ и Администрации Камчатского края (Чебров и др., 2011). Однако до настоящего времени многолетняя деятельность ОСП по прогнозированию землетрясений и извержений вулканов является значительным явлением (Федотов, 2008; Чебров и др., 2011). По комплексу сейсмологических, геофизических и геохимических данных ОСП осуществляет несколько видов сейсмических прогнозов: долгосрочный, среднесрочный, краткосрочный прогнозы и прогнозы развития роев землетрясений и афтершоков сильных землетрясений в Курило-Камчатском регионе. Прогнозы еженедельно передаются в КФ РЭС учреждениям РАН, а также в административные органы Камчатского края, МЧС России и другие заинтересованные организации.

Практика прогнозирования сейсмической обстановки на Камчатке ОСП и КФ РЭС с заблаговременностью от одной недели до 5–10 лет строится на основе экспертного анализа комплекса данных, представляемых различными учеными и организациями. При этом каждый исследователь, представляющий заключения о сейсмической опасности в экспертные советы, пользуется собственными базами исходных данных, методами их обработки и представления сейсмопрогностических результатов. Это создает трудности при выработке обобщающих заключений о сейсмической опасности по комплексу данных, которые хорошо известны авторам по

опыту многолетней работы в советах по прогнозу землетрясений.

В книге (Чебров и др., 2011) приводятся примеры сейсмопрогностических заключений КФ РЭС. Анализ их содержания в части оценок развития сейсмичности на Камчатке с упреждением в недели–месяцы показывает необходимость совершенствования формулировок прогнозных заключений и их обоснованности при принятии решений с использованием комплекса разнородных сейсмопрогностических данных.

В настоящей работе приводятся данные о долгосрочных прогнозах сильных землетрясений в районе полуострова Камчатка, а также данные о двух среднесрочных прогнозах возможного сильного землетрясения в пределах фрагмента Камчатской сейсмогенной зоны, прилегающего к территории Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона. По мнению авторов, рассматриваемые сейсмопрогностические материалы в совокупности указывают на существенное повышение вероятности сильного землетрясения вблизи краевого центра в ближайшие месяцы–годы и дают достаточные основания, чтобы обратить на них внимание действующих экспертных советов и научной общественности.

ДОЛГОСРОЧНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ ДЛЯ РАЙОНА КАМЧАТКИ

С 1960-х гг. осуществляется прогнозирование вероятных мест сильнейших землетрясений с $M \geq 7.7$ в Северо-Западной части Тихоокеанского сейсмического пояса с использованием *метода долгосрочного сейсмического прогноза сильнейших землетрясений* (Федотов, 1965, 2005), основанного на закономерностях развития сейсмичности в очагах сильнейших землетрясений. Исследования сейсмического процесса в пределах очагов сильнейших землетрясений показывают, что при усреднении сейсмических данных по временным интервалам порядка 5-ти лет и площадям порядка 10^4 кв. км интенсивность сейсмического процесса возрастает в конце этапа подготовки следующего сильнейшего землетрясения. Это свойство учитывается при количественных оценках сейсмической опасности (Федотов, 1968, 2005) и на его основе для Курило-Камчатской сейсмогенной зоны на каждое пятилетие прогнозируются:

- вероятные места следующих сильнейших землетрясений ($M \geq 7.7$) («сейсмические бреши»);
- максимальные ожидаемые магнитуды таких землетрясений по прогнозным участкам в наиболее активной части сейсмогенной зоны;
- вероятная очередность возникновения сильнейших землетрясений в наиболее опасных участках этой зоны;

— оценки вероятности возникновения сильнейших землетрясений на следующее пятилетие по всем участкам в пределах Курило-Камчатской сейсмогенной зоны.

В целом, прогнозы сильнейших землетрясений, составляемые по данному методу с 1965 г., реализовывались с вероятностью 0.8–0.9 (Федотов, 2005; Федотов и др., 2007). Последние уточнения прогнозных оценок приводятся в работе (Федотов, Соломатин, 2015), согласно которой наиболее опасным местом является район Авачинский залив — Южная Камчатка (рис. 1). В этом районе находится наиболее протяженная «сейсмическая брешь» длиной 350 км. При этом вероятность того, что землетрясение произойдет до VIII 2018 г. в прибрежной части Авачинского залива с интенсивностью сотрясений до 9 баллов в районе г. Петропавловск-Камчатский, оценивается в 13.3%. Это в 3–4 раза больше долговременной средней вероятности возникновения подобных событий. При этом

вероятность 8–9 балльного землетрясения в районе г. Петропавловск-Камчатский на период IX 2013–VIII 2018 гг. оценивается величиной 33.2%.

В работе (Викулин, 1992) также приводится прогнозная схема расположения очагов камчатских и северо-курильских землетрясений с $M \geq 7.6$ на период до 2070 г. с оценкой времени их возникновения. При построении данной схемы долгосрочного сейсмического прогноза автором учитывалась не только повторяемость сильнейших землетрясений, но и особенности миграции их очагов в пространстве и во времени. В соответствии с этой схемой ближайшее по времени сильное землетрясение ожидается в районе Южной Камчатки между мысами Лопатка и Поворотный в области очага землетрясения 1904 г., $M = 7.7$ (рис. 1). Такое землетрясение, по оценкам автора, может произойти в ближайшие годы и вызвать 7-ми балльные и более сотрясения в районе г. Петропавловска-Камчатского.

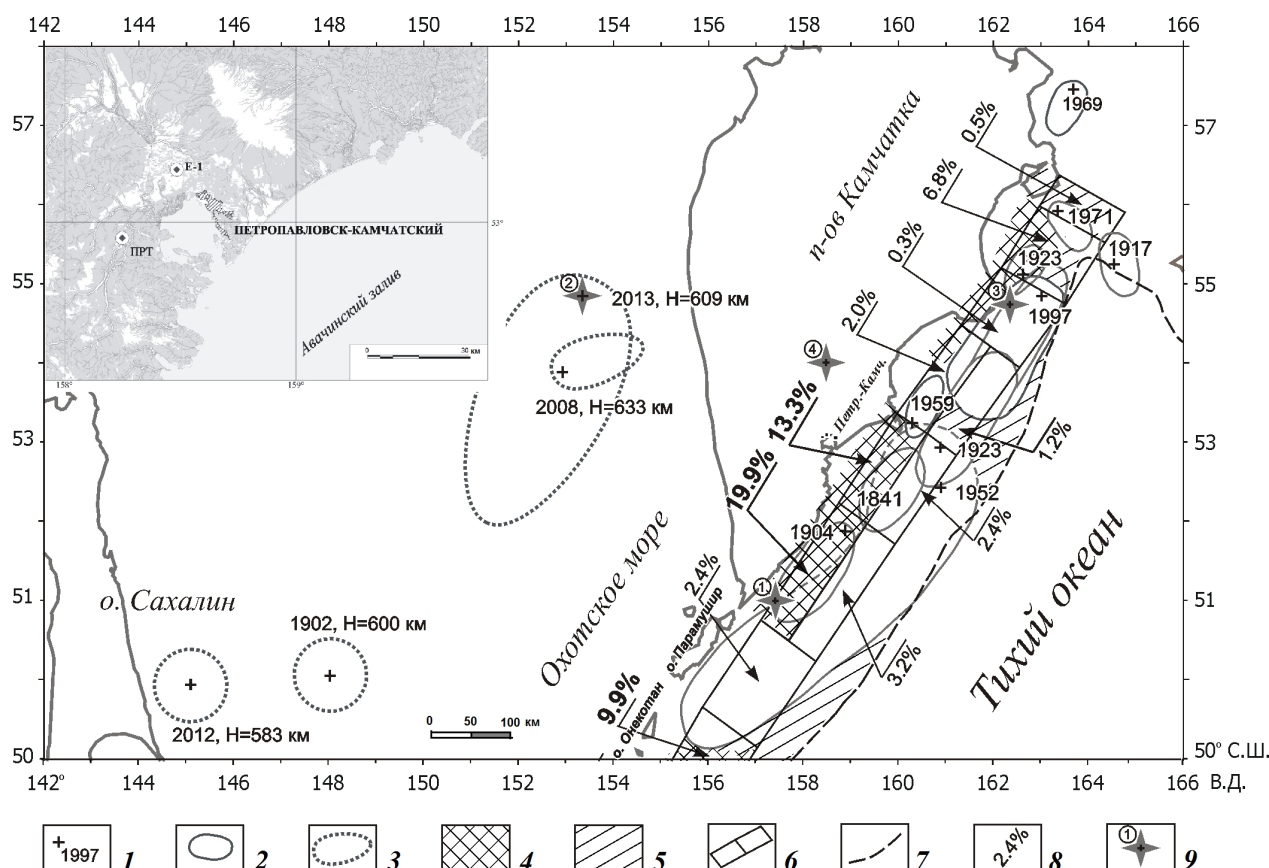


Рис. 1. Фрагмент карты долгосрочного сейсмического прогноза для района Камчатки на период IX 2013–VIII 2018 гг. по (Федотов, Соломатин, 2015) с дополнениями. 1 — инструментальные эпицентры и годы сильнейших ($M \geq 7.7$) землетрясений; 2 — границы очагов землетрясений с $M \geq 7.7$; 3 — эпицентры, годы, глубины (H) и предположительные области очагов сильнейших мантийных землетрясений; 4 — наиболее вероятные места следующих землетрясений с $M \geq 7.7$; 5 — возможные места следующих таких землетрясений; 6 — границы участков прогноза по методу ДССП; 7 — оси глубоководных желобов; 8 — прогнозируемые вероятности землетрясений с $M \geq 7.7$ в IX 2013–VIII 2018 гг. на основе метода ДССП; 9 — эпицентры землетрясений, для которых проводилось исследование гидрогеодинамических предвестников по данным наблюдений на скважине Е-1 (врезка), цифрами обозначены землетрясения: 1 — 28.02.2013 г., $M = 6.9$; 2 — Охотоморское 24.05.2013 г., $M = 8.3$; 3 — Кроноцкое 05.12.1997 г., $M = 7.8$; 4 — Жупановское 30.01.2016 г., $M = 7.2$.

Оценка времени возможных сильных землетрясений в сейсмоактивных регионах Тихоокеанского и Альпийско-Гималайского сейсмических поясов была выполнена *методом фазовых траекторий (МФТ)* в работах (Серафимова, Широков, 2012; Широков, Серафимова, 2006). В основу этого метода положена связь между возникновением сильнейших землетрясений с определенными фазами 18.6-летнего лунного цикла и 22-летнего Хейловского цикла солнечной активности.

Лунный цикл с периодом $T_0 = 18.613 \approx 18.6$ года — период вращения линии узлов орбиты Луны, то есть линии, по которой плоскость ее орбиты сечет эклиптику (плоскость орбиты Луны наклонена под углом $\sim 5^\circ$ к эклиптике). По этой причине, с периодичностью 18.6 г., происходят изменения амплитуды месячных изменений склонения Луны и приливного взаимодействия в системе Земля-Луна.

Хейловский 22-летний цикл солнечной активности именуется также магнитным. По данным Хейла при переходе от одного 11-летнего цикла солнечной активности к следующему полярность ведущих пятен в обоих полушариях Солнца меняет знак, что сопровождается изменением полярности магнитного поля Солнца. Длительность Хейловских циклов характеризуется большей устойчивостью, если за их начало брать минимумы четных 11-летних солнечных циклов. Каждому Хейловскому циклу приписывается номер, который обозначается в виде английской буквы Н (Hail, Хейл) и числа, соответствующего номеру четного 11-летнего цикла. Текущий цикл Хейла, начавшийся в январе 2009 г., обозначается как H24.

С использованием представительного каталога землетрясений Камчатки с магнитудами $M \geq 7.6$ и глубинами до 100 км были рассчитаны значения фазы Φ_1 лунного прилива и фазы Φ_2 22-летнего цикла Хейла для каждого события. За нулевые фазы 18.6-летнего прилива приняты эпохи максимального склонения Луны, а за нулевые фазы циклов Хейла взяты эпохи начала четных 11-летних циклов солнечной активности. На объединенной фазовой плоскости показано распределение землетрясений по их фазовым координатам (Φ_1, Φ_2) (рис. 2) и выделены области статистически значимых кластеров землетрясений с $M \geq 7.6$ («опасные» окна). Границы «опасных» окон определялись по значениям фаз произошедших землетрясений с точностью до 0.01.

В работе (Широков, Серафимова, 2006) выделено «опасное окно» в фазе цикла Хейла, имеющее планетарную природу и проявляющееся в различных регионах Альпийско-Гималайского и Тихоокеанского сейсмических поясов. Это «опасное окно» приурочено к эпохам минимумов

22-летних циклов, имеет длительность около полутора лет и также рассматривалось в качестве «опасного окна» для Камчатского региона (рис. 2, тип I). Два других выделенных «опасных окна» определяются местоположением кластеров произошедших землетрясений в Камчатском регионе (рис. 2, тип II).

Временные интервалы будущих событий в Камчатском регионе оценивались на основе расчета времени пересечений траектории цикла Хейла H24 с выделенными «опасными окнами». В соответствии с МФТ ближайший период времени с повышенной вероятностью возникновения землетрясений с $M \geq 7.6$ приурочен к августу 2015 – июлю 2017 гг. (Серафимова, Широков, 2012).

В работе (Гусев, 2008) на основании анализа распределения сильнейших землетрясений Камчатки показано существование статистически значимого 56-летнего цикла сейсмической активности с выделением 3.1-летнего опасного интервала, в течение которого преимущественно происходили сейсмические события с $M_w \geq 7.6$. В соответствии с прогнозными оценками, приведенными в указанной работе, настоящее время относится к опасному интервалу повышенной вероятности сильного землетрясения в районе г. Петропавловска-Камчатского (сентябрь 2014 г. –

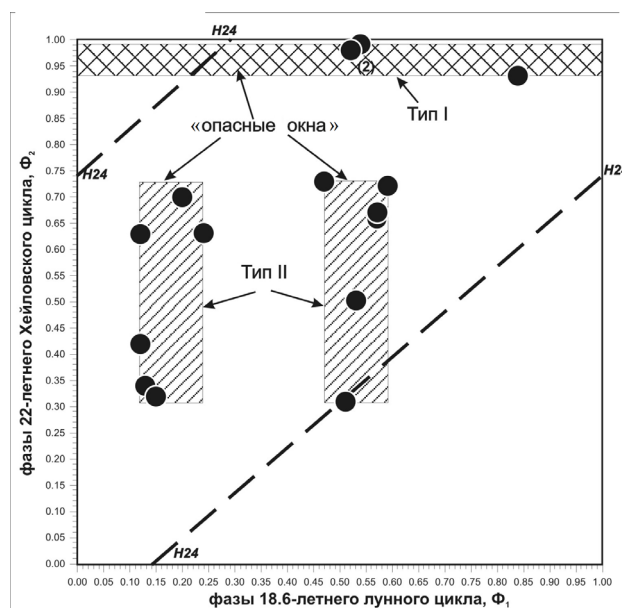


Рис. 2. Распределение камчатских землетрясений с $M \geq 7.6$ в зависимости от фаз лунного и Хейловского циклов за период 1737 – 2011 гг. Жирной пунктирной линией показана траектория текущего цикла Хейла H24 после определения эпохи минимума, соответствующей январю 2009 г. Для событий с $M \geq M_{\text{пор}} = 7.6$ одинарной штриховкой выделены «опасные» фазовые окна, соответствующие региональному отклику (тип II), двойной штриховкой выделен «опасный» фазовый интервал, соответствующий планетарному сейсмическому отклику (тип I).

декабрь 2017 г.). Оценка вероятности хотя бы одного сотрясения интенсивностью ≥ 7 баллов на средних грунтах в районе г. Петропавловска-Камчатского в этот период времени составляет 0.39 ± 0.15 .

Рассмотренные долгосрочные сейсмические прогнозы (Викулин, 1992; Федотов, Соломатин, 2015), в совокупности с данными по оценкам времени сильнейших землетрясений (Гусев, 2008; Широков, Серафимова, 2006), свидетельствуют о повышенной вероятности сильного землетрясения в Камчатской сейсмогенной зоне в течение ближайших месяцев–лет. В силу наибольшей уязвимости района г. Петропавловска-Камчатского при возникновении сильнейшего землетрясения на расстояниях до первых сотен км, включая сейсмогенные зоны в пределах Южной Камчатки, Авачинского и Кроноцкого заливов считаем необходимым обратить внимание на проявления среднесрочных предвестников землетрясений, уделяя внимание предвестникам, проявляющимся при наиболее сильных локальных землетрясениях с величинами магнитуд порядка $\geq M = 7$.

СРЕДНЕСРОЧНЫЕ ПРЕДВЕСТНИКИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

На территории Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона, располагающегося в пределах побережья Авачинского залива, сосредоточены различные системы геофизических, геохимических и геодезических наблюдений за средне-краткосрочными предвестниками землетрясений (Копылова, Серафимова, 2009; Чебров и др., 2011). По данным многолетних наблюдений в изменениях наблюдаемых параметров были выявлены разнообразные эффекты (предвестники), проявляющиеся с заблаговременностью от первых лет до месяцев–дней перед землетрясениями с величинами магнитуд порядка 5–7 и сопровождавшихся сотрясениями в районе г. Петропавловска-Камчатского ≤ 5 –6 баллов. Наиболее значительными событиями, произошедшими вблизи геодинамического полигона за время детальных сейсмопрогностических работ, были: Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 г., с $M_w = 7.8$ и эпицентром на расстоянии $R = 320$ км от г. Петропавловска-Камчатского, вызвавшее сотрясение в городе 5–6 баллов (Кроноцкое ..., 1998); мантийное Охотоморское землетрясение 24 мая 2013 г. с $M_w = 8.3$, $R = 370$ км, сотрясение в городе 4–5 баллов (Сильные ..., 2014) (рис. 1)

Среднесрочные предвестники зарегистрированы в изменениях объемной активности подпочвенного радона и уровня воды в глубокой скважине в пунктах регистрации на территории

Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона. Важной особенностью этих предвестников является их связь с сильными сейсмическими событиями с величинами магнитуд $M \geq 7$, произошедшими в северо-западной части Тихого океана.

Период наблюдений объемной активности радона (ОА Rn) в зоне полного влагонасыщения в пункте ПРТ составляет около 16 лет (рис. 1). В исходных данных ОА Rn с дискретизацией 30 мин. были компенсированы баровариации, а затем осуществлялась их децимация в полусуточных интервалах с последующим сглаживанием скользящим средним в пятисуточном окне. Для более достоверного выделения среднесрочных предвестников сильных землетрясений из полученного временного ряда ОА Rn была вычтена сезонная внутригодовая составляющая, которая находилась с помощью аддитивной модели (рис. 3). На полученной кривой динамики ОА Rn в период с мая 2003 по декабрь 2005 гг. наблюдался тренд увеличения ОА Rn до 80% с последующим падением значений до начальных величин. После окончания тренда в северо-западной части Тихого океана началась сейсмическая активизация, включающая цепочку из трех землетрясений с магнитудами $M_w = 7.6$ –8.3. На севере Камчатки в Корякском нагорье 20.04.2006 г. произошло Олюторское землетрясение с $M = 7.6$, а затем 15.11.2006 г. и 13.01.2007 г. произошел дуплет Симуширских землетрясений с $M = 8.3$ и с $M = 8.1$ соответственно (рис. 3). Перед мегаземлетрясением Тохоку (Япония) 11.03.2011 г. с $M = 9$ также наблюдалось повышение ОА Rn примерно в течение года. В работах (Фирстов, 2014; Фирстов и др., 2015а, 2015б) проявление в динамике ОА Rn таких относительно долговременных трендов длительностью порядка одного года и более объясняется их возможной связью с медленными изменениями напряженно-деформированного состояния геосреды в Камчатской сейсмоактивной зоне.

Последнее проявление тренда увеличения ОА Rn наблюдалось с ноября 2012 по февраль 2015 гг. (рис. 3), что по аналогии с предшествующими наблюдениями указывало на возможность возникновения одного или серии сильных землетрясений в северо-западной части Тихого океана в ближайшие годы (Фирстов, 2014; Фирстов и др., 2015а). Произошедшее 30 января 2016 г. Жупановское землетрясение с $M = 7.2$ (рис. 1), рассматривается как первое из цепочки возможных сильных землетрясений в северо-западной части Тихого океана, включая его акваторию, примыкающую к полуострову Камчатка.

По данным многолетних равномерных наблюдений на скважине Е-1 (координаты 53.26° с. ш.,

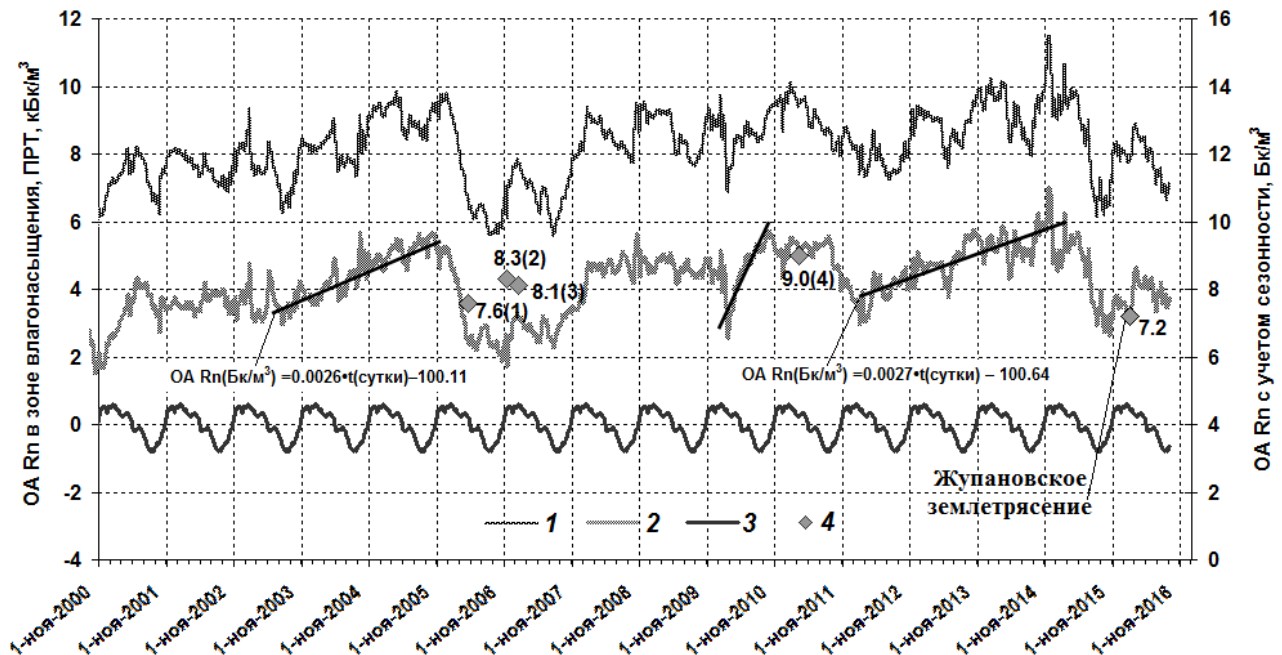


Рис. 3. Динамика ОА Rn в пункта ПРТ на глубине 3.5 м: 1 — осреднение скользящим средним в пятисуточном окне; 2 — аддитивная сезонная модель; 3 — кривая динамики ОА Rn за вычетом сезонной составляющей; 4 — землетрясения северо-западного обрамления Тихого океана с $M \geq 7.6$ и глубиной очага $H < 100$ км. Серыми линиями выделены тренды в динамике ОА Rn.

158.48° в. д., глубина 665 м), расположенной в 35 км от г. Петропавловск-Камчатский (рис. 1, врезка), были обнаружены два типа вариаций уровня воды, которые рассматриваются как среднесрочные гидрогеодинамические предвестники землетрясений — ГП_I со временем упреждения от суток до десятков суток (Копылова, 2013; Копылова, Боддина, 2012) и ГП_II с временем упреждения до нескольких лет (Копылова, 2001).

Гидродинамический предвестник первого типа (ГП_I) — понижение уровня воды с повышенной скоростью в течение нескольких суток-недель перед землетрясениями с $M \geq 5.0$ на эпицентральных расстояниях до 350 км описан в работах (Копылова, 2013; Копылова, Боддина, 2012). Он используется с начала 2000-х гг. для составления и передачи в экспертные советы по прогнозу землетрясений регулярных заключений о возможности сильных землетрясений в Камчатском регионе. В работе (Копылова, 2013) для ГП_I по данным многолетних наблюдений приводится его параметрическое описание. Началом ГП_I является момент времени, когда среднесуточная скорость понижения уровня воды достигает порогового значения $v \leq -0.08$ см/сут, что наблюдалось перед Жупановским землетрясением 30.01.2016 г. с $M = 7.2$ (рис. 4а). Заключение о возможности сильного землетрясения было подано в экспертный совет КФ РЭС 21 января и было признано этим советом как оправдавшееся в отношении Жупановского землетрясения (Чебров и др., 2016).

Описание гидрогеодинамического предвестника ГП_II впервые было дано в работе (Копылова, 2001), где показано, что в период с 1991 по 1997 гг. в скважине Е-1 наблюдался многолетний тренд понижения уровня воды, который связывался с сейсмической активизацией, включающей шесть землетрясений с $M = 6.9-7.8$, на расстояниях до 300 км от скважины. В число этих землетрясений входит и Кроноцкое землетрясение 05.12.1997 г. с $M = 7.8$ (Кроноцкое ..., 1998). Предполагалось, что многолетний тренд понижения уровня воды отражает геодинамические процессы, связанные с подготовкой такой сейсмической активизации в Камчатском регионе.

По данным уровнемерных наблюдений на скважине Е-1 в течение последних 4.5 лет развивается ГП_II. С начала его проявления (10 декабря 2011 г.) до 8 августа 2016 г. амплитуда понижения уровня воды составила 141 см при средней скорости $v = -0.08$ см/сут (рис. 4б). Эти параметры близки к тем, которые наблюдались в 1991–1997 гг. (Копылова, 2001). Развитие ГП_II в конце 2011 – начале 2012 гг. послужило основанием для подачи заключения 6 апреля 2012 г. в КФ РЭС о возможном усилении сейсмической активности в течение месяцев – первых лет в радиусе до первых сотен км от скважины в виде одного или нескольких землетрясений с $M \geq 6.0$. Этот прогноз можно считать успешно оправдавшимся в отношении произошедших в 2013 г. сейсмических событий (Сильные ..., 2014) и Жупановского землетрясения 2016 г. (Чебров и др., 2016) (рис. 4б).

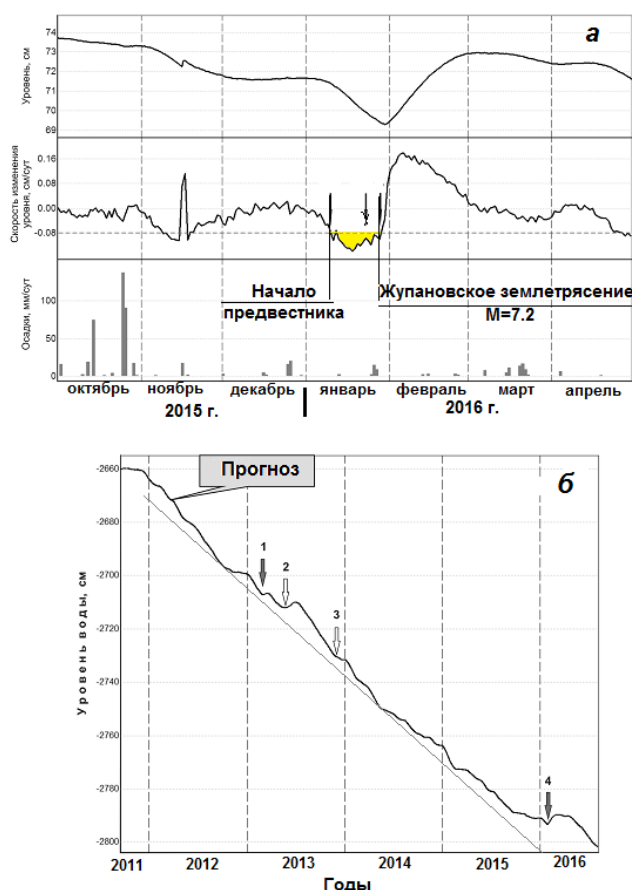


Рис. 4. Проявление двух видов гидрогеодинамических предвестников в изменениях уровня воды в скважине Е-1. ГП_I в период Жупановского землетрясения 30.01.2016 г., $M = 7.2$ (а); ГП_II в изменениях уровня воды с декабря 2011 г по август 2016 гг. (б): стрелками показаны землетрясения с $M \geq 6.5$ в радиусе до 350 км от скважины: темными стрелкам обозначены землетрясения, в отношении которых были сделаны успешные среднесрочные прогнозы на основании ГП_I: 1 — 28.02.2013 г., $M = 6.9$, 4 — 30.01.2016 г., $M = 7.2$ (Жупановское); светлыми стрелками обозначены землетрясения, в отношении которых прогнозы по ГП_I не выдавались: 2 — 24.05.2013 г. (Охотоморское), $M = 8.3$, 3 — 12.11.2013 г., $M = 6.6$.

После Жупановского землетрясения наблюдалась стабилизация уровня воды в течение трех месяцев. Затем тренд понижения уровня воды вновь возобновился со средней скоростью $v = -0.08$ см/сут, что дает основание на продолжение опасного периода возникновения землетрясений с величинами магнитуды порядка ≥ 7 на расстояниях до первых сотен км от скважины в ближайшее время.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рассмотренные примеры развивающихся среднесрочных предвестников относительно сильных землетрясений, также как и приведенные данные о долгосрочных сейсмических

прогнозах сильнейших землетрясений у берегов Камчатки, указывают на повышенную вероятность сильного сейсмического события в районе г. Петропавловска-Камчатского в ближайшее время.

К сожалению, обоснованные количественные оценки такой вероятности нами не приводятся, в первую очередь, в силу отсутствия опыта наблюдений за проявлениями предвестников сильнейших землетрясений в сейсмогенных районах, непосредственно примыкающих к территории Петропавловск-Камчатского полигона. Это является основной причиной того, что при проявлении предвестников, охарактеризованных оценками вероятности их связи с близкими сейсмическими событиями с минимальным порогом по магнитуде порядка $M = 5-6$ (либо с более сильными, $M \geq 7$, но удаленными землетрясениями), невозможно сделать обоснованную вероятностную оценку возникновения именно сильнейшего землетрясения, с катастрофическими последствиями. Так как особенности проявления отдельных предвестников и их совокупности при подготовке сильнейшего землетрясения могут существенно отличаться от известных закономерностей их проявления при относительно слабых сейсмических событиях в силу масштабного различия подготовки таких событий по пространству, времени и энергии.

В книге (Чебров и др., 2011) рассматриваются возможные направления развития сейсмопрогностических исследований на Камчатке и предлагается постепенный переход от экспертного анализа к текущему вероятностному прогнозированию сейсмической обстановки по данным наблюдений за предвестниками. Такой вывод согласуется с предложениями Международной комиссии по прогнозу землетрясений, которая работала в Италии в 2009 г. после Л'Аквильского землетрясения (Jordan et al., 2011). Вместе с тем, предложенное направление развития работ по прогнозированию землетрясений на Камчатке не реализовано до настоящего времени.

В работах (Копылова, Серафимова, 2010; Серафимова, Копылова, 2009) отмечалось, что важным условием дальнейшего развития работ по прогнозу камчатских землетрясений является создание открытых баз данных по среднесрочным предвестникам с их подробным описанием по всем используемым методам наблюдений. В работе (Копылова, 2013) также имелось предложение об обеспечении открытого доступа к архивам работы специализированных экспертных советов по прогнозу землетрясений в целях более углубленного изучения отдельных предвестников и их комплекса в связи с произошедшими на Камчатке землетрясениями с использованием широкого набора статистических оценок их связи

с землетрясениями различного энергетического уровня.

Таким образом, вопрос о возможности прогнозирования сильнейших землетрясений в районе г. Петропавловска-Камчатского с $M > 7$ на основе использования имеющегося опыта наблюдений предвестников перед более слабыми событиями $5 < M < 6$ представляется нам открытым и нуждающимся в его обсуждении. Приведенные в настоящей работе данные показывают необходимость срочной активизации работы по сейсмопрогностической тематике на Камчатке.

Кроме этого очевидна необходимость осуществления комплекса превентивных мероприятий административными органами и научными организациями, направленных не только на уточнение прогноза времени ожидаемого сейсмического события, но и уменьшение возможного ущерба. Одним из таких направлений является совершенствование работ по обеспечению прогнозирования сильного землетрясения, включающее повышение обоснованности средне-краткосрочных прогнозов по данным большого комплекса методов.

Работа частично выполнена в рамках плановой темы НИР ФИЦ ЕГС РАН «Комплексное исследование предвестников сильных землетрясений и развитие методик прогнозирования сейсмической обстановки в сейсмоопасных регионах», рег. № АААА-А16-116070550059-1 и при финансовой поддержке проектов РФФИ № 16-05-00162 и ДВО РАН № 15-1-2-035.

Авторы выражают благодарность С.А. Федотову за проявленное внимание к работе, а также В.А. Рашидову за конструктивную критику, способствующую улучшению работы.

Список литературы

- Викулин А.В.* Прогноз времени сильнейших землетрясений у берегов Камчатки и Северных Курил // Вулканология и сейсмология. 1992. № 1. С. 62–69.
- Гусев А.А.* О реальности 56-летнего цикла и повышенной вероятности сильных землетрясений в Петропавловске-Камчатском в 2008–2011 гг. согласно лунной цикличности // Вулканология и сейсмология. 2008. № 6. С. 55–65.
- Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации — ОСР-97. Масштаб 1:8000000 / Главные редакторы акад. Страхов В.Н., проф. Уломов В.И. М.: ОИФЗ РАН, 1999. 4 листа.
- Копылова Г.Н.* Изменения уровня воды в скважине Елизовская-1, Камчатка, вызванные сильными землетрясениями (по данным наблюдений в 1987–1998 гг.) // Вулканология и сейсмология. 2001. № 2. С. 39–52.
- Копылова Г.Н.* О вероятностном среднесрочном прогнозе сильных землетрясений Камчатки и параметризации предвестников // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Тр. Четвертой научно-техн. конф. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 382–386.
- Копылова Г.Н., Серафимова Ю.К.* О проявлении некоторых среднесрочных предвестников сильных ($M_w \geq 6.6$) землетрясений Камчатки 1987–2004 гг. // Геофизические исследования. 2009. № 4. Т. 10. С. 17–33.
- Копылова Г.Н., Болдина С.В.* О связи изменений уровня воды в скважине Е-1, Восточная Камчатка, с активизацией вулкана Корякский в 2008–2009 гг. и сильными ($M \geq 5$) землетрясениями // Вулканология и сейсмология. 2012. № 5. С. 41–54.
- Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 г. Предвестники, особенности, последствия. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КГАРФ, 1998. 294 с.
- Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В.* Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. М.: МГК АН СССР, 1965. 11 с.
- Серафимова Ю.К., Копылова Г.Н.* Среднесрочные предвестники сильных ($M \geq 6.6$) землетрясений Камчатки 1987–2007 гг.: ретроспективная оценка их информативности для прогноза // Вулканология и сейсмология. 2010. № 4. С. 3–12.
- Серафимова Ю.К., Широков В.А.* Прогнозирование сильных землетрясений, вулканических извержений и цунами на основе изучения их связи с лунным приливом 18.6 г. и 22-летним Хейловским циклом солнечной активности // Сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке (к 50-летию детальных сейсмологических наблюдений). Петропавловск-Камчатский: «Новая книга», 2012. С. 305–328.
- Сильные камчатские землетрясения 2013 года / Под ред. В.Н. Чеброва. Петропавловск-Камчатский: «Новая книга», 2014. 252 с.
- Федотов С.А.* О закономерностях распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии // Труды Института физики Земли АН СССР. № 36 (203). М.: Наука, 1965. С. 66–93.
- Федотов С.А.* Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги. М.: Наука, 2005. 303 с.
- Федотов С.А.* К 30-летию Совета Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН и Камчатского филиала ГС РАН по прогнозу землетрясений и извержений вулканов //

- Вулканология и сейсмология. 2008. № 6. С. 78–80.
- Федотов С.А., Соломатин А.В. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IX 2013 - VIII 2018 гг.; особенности сейсмичности дуги в период предшествовавших глубоких охотоморских землетрясений 2008, 2012 и 2013 гг. с $M = 7.7$, 7.7 и 8.3 // Вулканология и сейсмология. 2015. № 2. С. 3–19.
- Фирстов П.П. Возможности прогноза сильных землетрясений по данным радонового мониторинга на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. № 1. Вып. 23. С. 232–245.
- Фирстов П.П., Макаров Е.О., Акбашев Р.Р. Мониторинг концентрации почвенных газов на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне в связи с прогнозом сильных землетрясений // Сейсмические приборы. 2015а. Т. 51. № 1. С. 60–80.
- Фирстов П.П., Макаров Е.О., Максимов А.П., Чернев И.И. Отражение геодинамической обстановки северо-западного обрамления Тихого океана в динамике подпочвенного радона и в газовом составе теплоносителя Мутновской ГеоЭС // Вулканология и сейсмология. 2015б. № 5. С. 43–49.
- Широков В.А., Серафимова Ю.К. О связи 19-летнего лунного и 22-летнего солнечного циклов с сильными землетрясениями и долгосрочный сейсмический прогноз для северо-западной части Тихоокеанского тектонического пояса // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. Вып. № 8. С. 120–133.
- Чебров В.Н., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К. Прогнозирование Землетрясений на Камчатке. М.: Светоч Плюс, 2011. 303 с.
- Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Абубакиров И.Р. и др. Жупановское землетрясение 30.01.2016 г. с $K_s=15.7$, $M_w=7.2$, $I=6$ (Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2016. № 1. Вып. 29. С. 5–16.
- Jordan T. H., Chen Y-T., Gasparini P. et al. Operational earthquake forecasting. State of knowledge and guidelines for utilization. ICEF Final Report 30 May 2011 // Annals of Geophysics. 2011. V. 54. № 4. P. 315–391.

STRONG EARTHQUAKE FORECAST NEAR THE KAMCHATKA PENINSULA

P.P. Firstov¹, G.N. Kopylova¹, A.Yu. Solomatin², Yu.K. Serafimova¹

¹Kamchatka branch of Geophysical service RAS

²Institute of volcanology and seismology of the FEB RAS

The paper provides a description of the complex of seismoprostnostic data indicating increased probability of strong earthquakes within the area of the Kamchatka Peninsula. Long-term seismic forecasts, based on statistical analysis of the development of seismicity in the sources of strongest earthquakes in the northwestern part of the Pacific Ocean as well as their migration and relation to the natural space cycles in the coming years suggest there is a high probability of strong seismic events that may cause strong earthquakes in Petropavlovsk-Kamchatsky, Yelizovo, and Vilyuchinsk. Long-term observations of the subsoil radon and water-level variations in deep well revealed medium-term signals of a strong earthquake buildup in seismogenic zone of Kamchatka, including the areas of Kronotsky Bay, Avachinskaya Bay and South Kamchatka. It is important to revive seismic forecasting in Kamchatka and achieve here certain prevention measures provided by the administrative and scientific organizations.

Keywords: Kamchatka, seismic cycle, long-term forecast, radon, water-level.